

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **05102540 A**

(43) Date of publication of application: **23.04.93**

(51) Int. Cl.
H01L 39/22
C01G 1/00
C01G 29/00

(21) Application number: **03261782**

(22) Date of filing: **09.10.91**

(71) Applicant: **MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD**

(72) Inventor:
MIZUNO KOICHI
SETSUNE KENTARO
ADACHI HIDEAKI
ICHIKAWA HIROSHI

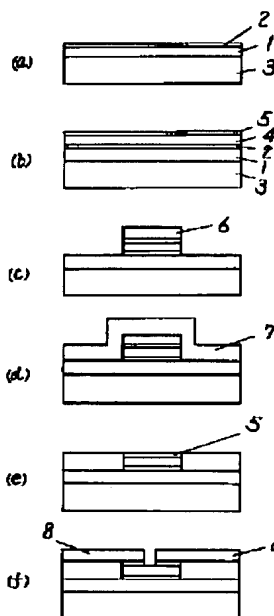
(54) NONLINEAR SUPERCONDUCTING ELEMENT

(57) Abstract:

PURPOSE: To obtain a nonlinear superconducting element which consists of superconducting A and B electrodes and a channel layer whose resistivity has negative dependency on temperature, and has negative resistance characteristics.

CONSTITUTION: A superconducting A electrode 1 is formed on a substrate 3. A channel layer 2, a superconducting B electrode 4 and a surface protecting layer 5 are laminated by a sputtering method. The A electrode 1 is exposed by using negative resist 6, and an electrode isolation layer 7 is formed and lifted-off, thereby forming a contact electrode 8. The above nonlinear superconducting element exhibits intensive nonlinearity in current-voltage characteristics, in a wide range of temperature lower than or equal to the superconductivity transition temperature of the A electrode 1.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-102540

(43)公開日 平成5年(1993)4月23日

(51)Int.Cl.⁵

H 0 1 L 39/22

C 0 1 G 1/00

29/00

識別記号

庁内整理番号

A 8728-4M

Z A A S 7202-4G

Z A A 8516-4G

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数5(全 8 頁)

(21)出願番号

特願平3-261782

(22)出願日

平成3年(1991)10月9日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 水野 紘一

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 瀬恒 謙太郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72)発明者 足立 秀明

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(74)代理人 弁理士 小鍛冶 明 (外2名)

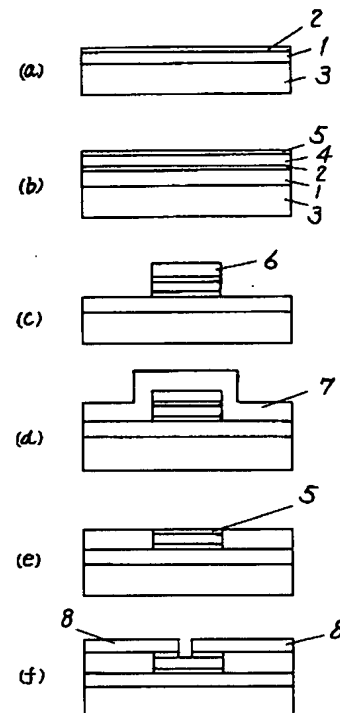
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 非線形超伝導素子

(57)【要約】

【目的】 A、B両超伝導電極と、抵抗率が温度に対して負の依存性を有するチャンネル層で構成した非線形超伝導素子で、負性抵抗特性を有する非線形超伝導素子を提供することを目的とする。

【構成】 基板3上に超伝導A電極1を形成し、チャンネル層2、超伝導B電極4、表面保護層5をスパッタ法で積層した。次にネガレジスト6を用いA電極1を露出させ、電極間分離層7を形成しリフトオフし、コンタクト電極8を形成した。この非線形超伝導素子は、A電極1の超伝導遷移温度以下の広い温度範囲にわたって、電流電圧特性に強い非線形性を示した。



【特許請求の範囲】

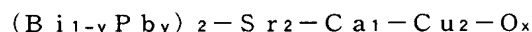
【請求項1】超伝導体よりなるA電極およびB電極と、前記A電極および前記B電極に接し、かつ抵抗率が温度に対して負の依存性を有するチャンネル層より構成したことを特徴とする非線形超伝導素子。

【請求項2】少なくともA電極またはB電極のどちらか一方をアンテナ状の構成とし、かつチャンネル層近傍の前記A電極または前記B電極の少なくとも何れかを前記チャンネル層程度の幅にしたことを特徴とする、請求項1記載の非線形超伝導素子。

【請求項3】少なくともチャンネル層の近傍のA電極またはB電極のどちらか一方の一部に、多数の結晶粒界を含む多結晶薄膜を形成したことを特徴とする、請求項1記載の非線形超伝導素子。

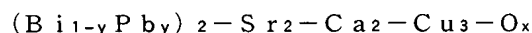
【請求項4】少なくともA電極またはB電極の一部が、他の超伝導体の一部、超伝導素子の一部、あるいは超伝導体を構成要素に含む超伝導回路の一部に接触または共有したことを特徴とする、請求項1記載の非線形超伝導素子。

【請求項5】A電極、B電極の材料が、主として2212相の下記Bi系酸化物超伝導体



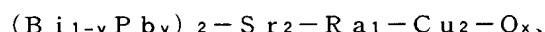
(ただし $0 \leq y < 0.5$ 、 x は任意)

もしくは、主として2223相の下記酸化物超伝導体



(ただし $0 \leq y < 0.5$ 、 x は任意)

の内何れか1種であり、チャンネル層の材料が、主として2212相の下記酸化物



(ただし $0 \leq y < 0.5$ 、 x は任意、 Ra はY、およびランタノイド元素のうち少なくとも一つをさす)を用いることを特徴とする、請求項1～4何れかに記載の非線形超伝導素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は超伝導応用技術に関し、特に非線形超伝導素子に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、超伝導素子といえば、弱結合型ジョセフソン素子、トンネル接合型ジョセフソン素子、超伝導体の超伝導遷移を利用するボロメータ等があった。

【0003】一方、近年発見された酸化物超伝導体の中には、その超伝導遷移温度が液体窒素温度(77.3 K)を越えるものがあり、超伝導体の応用分野を大きく広げることとなった。

【0004】その実用化の一つである超伝導素子について、酸化物超伝導体を二つに割り、再びわずかに接触させたジョセフソン素子、酸化物超伝導体を薄膜にし、小さなくびれをつけたブリッジ型ジョセフソン素子、酸化物超伝導体間をAu、Ag等の貴金属で接続したジョセ

フソン素子等、すべて弱結合型のジョセフソン素子として試作されている。

【0005】

【発明が解決しようとしている課題】従来試作されている超伝導素子、つまり弱結合型のジョセフソン素子、トンネル接合型ジョセフソン素子等とは異なり、非線形性が強く、他の新たな応用が可能な、新しい特性の超伝導素子が望まれていた。

【0006】一方、酸化物超伝導体を用いた弱結合型のジョセフソン素子の電流電圧特性上の非線形領域は、電圧軸上の0マイクロボルトから数百マイクロボルト程度の低電圧領域であった。そのため例えば特性インピーダンスの大きな周辺外部回路等との間で、インピーダンスのミスマッチが大ききという課題があった。

【0007】さらに、弱結合型のジョセフソン素子の電磁波への応答を利用するジョセフソンミキサでは、電磁波の周波数の選択性がほとんどなく、特に通信の分野ではある特定の周波数にのみ応答できないという課題があった。

【0008】また、超伝導体自体を用い、赤外線領域の電磁波に対してボロメトリックに応答させる素子では、超伝導体の超伝導臨界温度付近でしか応答せず、雑音等に起因する環境温度のゆらぎで、その動作が多大な影響を受けるという課題があった。また、動作温度の範囲が、超伝導体の超伝導臨界温度付近のごく限られた狭い部分であるという課題もあった。

【0009】また、超伝導集積回路の分野では、回路の温度上昇をモニターしたいという要望があるが、従来の白金センサーなどは、低温で温度分解能が低くなり、超伝導回路には不向きであった。また、シリコンダイオード、ゲルマニウム抵抗、カーボン抵抗などを用いたセンサーは、低温での温度分解能は高いが、超伝導体と集積化することが難しく、また低温での回路とセンサー間の熱伝導をよくしなければ、正確な温度測定ができない、などの課題があった。

【0010】本発明は、特性が安定で、しかも大きな素子抵抗を有する非線形性の強い超伝導素子を提供することを目的とする。また、本発明は先の目的に加えて、特定の周波数に応答する非線形超伝導素子を提供することも目的の一つである。さらに超伝導体の臨界温度以下より、低温の広い温度領域で電磁波に応答する超伝導素子を提供することを目的とする。さらに、超伝導体、あるいは超伝導回路と、集積化が可能で、その超伝導体、あるいは超伝導回路の温度を正確にモニターできる超伝導素子を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、超伝導体よりなるA電極およびB電極と、そのA電極、およびB電極に接し、かつその抵抗率が温度に対して負の依存性を有するチャンネル層より構成される非線形超伝導素子によつ

3

て、かかる従来の課題を克服した。

【0012】

【作用】本発明は、超伝導体よりなるA電極およびB電極と、そのA電極、およびB電極に接し、かつその抵抗率が温度に対して負の依存性を有するチャネル層より超伝導素子を構成することによって、弱結合型のジョセフソン素子に比べ、非線形性の強い超伝導素子、異なる機能を持つ素子を構成した。

【0013】この構成を有することによって、何れか一方の超伝導電極の超伝導遷移温度以下の温度において、超伝導素子の電流電圧特性に負性抵抗特性が現出できる。この負性抵抗が現出する原因については定かではないが、超伝導素子を流れる電流によって、チャネル層温度が局部的に上昇し、素子抵抗が低下するためと想定される。この負性抵抗特性のため、従来の弱結合型のジョセフソン素子に比べ、非線形性が強く、またその負性抵抗特性を用い、反転増幅素子、周波数変換素子、発信素子を構成できる。

【0014】また、本発明に用いたチャネル層のように、抵抗率が温度に対して負の依存性を有する材料は、例えばホッピング伝導性の材料であり、通常抵抗率が大きく、このため素子抵抗が大きなものとなる。このことにより、本発明の非線形超伝導素子は、例えば特性インピーダンスの大きな周辺外部回路等との間でも、インピーダンスのマッチングがとり易くなる。

【0015】

【実施例】本発明は、超伝導体を一對の電極とし、この両電極の間に、抵抗率が温度に対して負の依存性を有するチャネル層を設けた構造を有する非線形超伝導素子に関し、両電極の超伝導体のどちらか一方の超伝導遷移温度以下の温度において、本発明の超伝導素子の電流電圧特性上に負性抵抗特性を示す領域を有することで、非線形性の効果を顕著に示すものである。

【0016】本発明の非線形超伝導素子に供される超伝導体としては、例えばニオブ、窒化ニオブ、鉛、アルミニウム等の金属超伝導体、例えばY-B-Cu-O系、Tl-Ba-Cu-O系、Bi-Sr-Ca-Cu-O系等のいわゆる酸化物超伝導体でもよく、超伝導材料は特に選ばないが、特に、主として2212相のBi系酸化物超伝導体 $(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2\text{-Sr}_2\text{-Ca}_1\text{-Cu}_2\text{-O}_x$ (ただし $0 \leq y < 0.5$ 、 x は任意)、もしくは主として2223相のBi系酸化物超伝導体 $(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2\text{-Sr}_2\text{-Ca}_2\text{-Cu}_3\text{-O}_x$ (ただし $0 \leq y < 0.5$ 、 x は任意)の内何れか1種を用いると、素子作製が容易で、基板上への積層化、他の酸化物超伝導体素子との集積化、動作温度範囲の拡張、動作温度の上昇等、様々な利点があるため好ましい。

【0017】またチャネル層の材料には、抵抗率が温度に対して負の依存性を有する材料であれば、シリコン、ゲルマニウム、炭素等の半導体材料、酸化物材料、窒化

4

物材料等でも良いが、特に、主として2212相の酸化物 $(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2\text{-Sr}_2\text{-Ra}_1\text{-Cu}_2\text{-O}_x$ (ただし $0 \leq y < 0.5$ 、 x は任意、 Ra はY、およびランタノイド元素のうち少なくとも一つをさす)を用いると、抵抗率が高くでき、良好な非線形超伝導素子を構成できるため好ましい。特にA、B両電極、およびチャネル層とするBi系酸化物を、基板表面に対してその結晶のc軸が垂直に配向するように成膜することにより、そのa、b各結晶方位の格子定数がほぼ一致するために良好な結晶性を有し、A、B両電極において、より良好な超伝導特性をもつ薄膜を実現できるため望ましい。

【0018】したがって、超伝導電極材料とチャネル層材料とにこの組み合わせを用いると、素子作製が容易で、基板上への積層化、他の酸化物超伝導体素子との集積化、動作温度範囲の拡張、動作温度の上昇、チャネル層としては、抵抗率が高くでき、良好な非線形超伝導素子を構成できる等様々な利点がある。

【0019】また、本発明の非線形超伝導素子は、

(1) 非線形超伝導素子の超伝導電極をアンテナ状の構成とし、しかもチャネル層近傍の、超伝導電極をチャネル層程度の幅にパターンニングし、電流電圧特性の変化で、外部から照射された電磁波の中のある特定の周波数を計測する素子、または、(2) 非線形超伝導素子のチャネル層付近の超伝導電極の一部に、多数の結晶粒界を含む多結晶薄膜設け、電流電圧特性の変化で、電磁波、特に数ギガヘルツ以上の高周波の電磁波を計測する素子、あるいは、(3) 非線形超伝導素子の超伝導体の一部が、他の超伝導体、あるいは超伝導素子、あるいは超伝導体を構成要素に含む超伝導回路の一部に接触するか、あるいは一部を共有するように集積化して設置し、電圧電流特性の変化で、接している超伝導体、超伝導素子、あるいは超伝導体を構成要素に含む超伝導回路の温度を計測する素子、の形態で、様々な応用化ができる。

【0020】すなわち、(1)の構成により、アンテナ形状に依存する周波数の電磁波を吸収し、その吸収した電磁波のエネルギーによって超伝導体の温度が上昇し、超伝導素子の特性が変化する。このときチャネル層近傍の超伝導体を細くパターンニングすると、チャネル層部分の熱伝導が一次的になり、より効果的に電磁波に対し応答する。また、アンテナの形状により、その超伝導素子が電磁波の周波数選択性を持ち、ある特定の周波数にのみ応答する。

【0021】また、(2)の構成にすることにより、数ギガヘルツから赤外線領域の周波数の電磁波に対し、それら各々のジョセフソン結合の状態が変化し、多数の結晶粒界を含む多結晶薄膜の熱伝導特性が変化し、それによって超伝導素子の特性が変化する。また、この効果は、超伝導体の遷移温度から、極低温までの広い温度範囲で起こる。このことにより、従来の超伝導体を用いた赤外線ボロメータの持っていた、赤外線領域の電磁波に

対してボロメトリックに応答するものの、超伝導体の超伝導臨界温度付近でしか応答せず、環境温度のゆらぎによる雑音が大きいこと、また、動作温度の範囲が、超伝導体の超伝導臨界温度付近のごく限られた狭い部分であるという課題を解決した。

【0022】さらにまた、(3)の構成にすると、他の超伝導体、超伝導素子、超伝導回路の温度と、本第1の発明の超伝導素子との温度が同一となり、本第1の発明の超伝導素子の特性変化によって、接触している超伝導集積回路等の温度モニターが出来る。なお、超伝導体同士を直接接合、あるいは一部を共有して集積化しているため、熱伝導が超伝導体を介しておこなわれ、効率よく温度計測が出来る。これにより、従来の白金センサーが持っていた、低温で温度分解能が低くなるという課題、また、シリコンダイオード、ゲルマニウム抵抗、カーボン抵抗などを用いたセンサーが持っていた、低温での温度分解能は高いが、超伝導体と集積化することが難しく、また低温での回路とセンサー間の熱伝導をよくしなければ、正確な温度測定ができない、などの課題を解決した。

【0023】なお、本発明の非線形超伝導素子の基板材料としては、MgO等通常の基板材料が供される。

【0024】また、本発明の非線形超伝導素子の形成方法としては、スパッタ法、抵抗加熱蒸着法等通常の薄膜形成方法が供される。

【0025】以下に具体的実施例を挙げて、本発明をより詳細に説明する。

(実施例1) 図1は本発明の非線形超伝導素子の一実施例を作製するプロセス図である。まず、図1(a)に示したように、(100)MgO基板を基体3に用い、rfマグネトロンスパッタリング法によって、主として2212相の酸化物超伝導体を含むBi系酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{-Sr}_2\text{-Ca}_1\text{-Cu}_2\text{-O}_x$ (ただしxは任意)が堆積するように調整した酸化物粉末のターゲットを用い、厚さ300nmのA電極1を堆積させた。引き続き同一真空中において、主として2212相のBi系酸化物 $\text{Bi}_2\text{-Sr}_2\text{-Nd}_1\text{-Cu}_2\text{-O}_x$ (ただしxは任意)が堆積するように調整した酸化物粉末のターゲットよりチャネル層2を厚さ11nm堆積させた。

【0026】さらに図1(b)に示したように、B電極4となる2212相の酸化物超伝導体を含むBi系酸化物超伝導体 $\text{Bi}_2\text{-Sr}_2\text{-Ca}_1\text{-Cu}_2\text{-O}_x$ (ただし、xは任意)が堆積するように調整した酸化物粉末のターゲットを用いて、B電極4を200ナノメートル堆積させ、最後に表面保護層5としてのPtを60nm堆積させた。

【0027】ただし基板温度は表面保護層5のPtの堆積を除き、いずれの場合も650℃である。表面保護層5は、室温で堆積した。

【0028】その後、ネガレジスト6を用いたフォトリ

ソグラフィーおよびイオンミリングにより、図1(c)に示したように、チャネル層2、B電極4、および表面保護層5をトンネル接合形状にパターニングした。

【0029】その後、図1(d)に示したように、ネガレジスト6を除去せずに、電極間分離層7として250ナノメートルの CaF_2 を真空蒸着により堆積後、図1

(e)に示したようにトリクロロエタンによる超音波洗浄、および O_2 ガスプラズマ処理(1トール、13.56MHz、400W)によるリフトオフ法で表面保護層5を露出させた。

【0030】最後に、全面にコンタクト電極8用に、Pt150nmを堆積させ、ネガレジストを用いたフォトリソグラフィーおよびイオンミリングによりによりB電極の一部に接触させたコンタクト電極8を形成し、図1(f)に示したような非線形超伝導素子を完成させた。

【0031】図2は本超伝導素子作製に用いたチャネル層の抵抗率の温度依存性である。低温において急激に増大し、温度に対して負の依存性を示している。ここでBSNCO(2212)、BSECO(2212)は、それぞれ、 $\text{Bi}_2\text{-Sr}_2\text{-Nd}_1\text{-Cu}_2\text{-O}_x$ (ただし、xは任意)、 $\text{Bi}_2\text{-Sr}_2\text{-Er}_1\text{-Cu}_2\text{-O}_x$ (ただし、xは任意)を表わし、BSNCO(2201)、BSECO(2201)は、それぞれ、Bi系2201構造の、 Bi-Sr-Nd-Cu-O 、 Bi-Sr-Er-Cu-O を表わす。

【0032】図3に、この超伝導素子の温度を変えて測定した電流電圧特性の一例を示す。特性上に強い非線形性が確認され、低温にするにつれ負性抵抗領域が見られ、非線形性が大きくなっていることを示している。また、温度変化に対して、特に負性抵抗が現われる付近での特性が大きく変化した。素子抵抗は、従来作製された同様の形状のジョセフソン素子よりも大きなものであり、外部回路とのインピーダンスマッチングに有利であった。

【0033】(実施例2) 図4に本発明の非線形超伝導素子の別の実施例の概略図を示す。また図5(a)に、中心部分を拡大した上面図、また図5(b)にその断面図を示す。本実施例では実施例1の非線形超伝導素子のA電極をボウタイアンテナ9形状とし、その中央部を幅10μm、長さ100μmに加工し、その中央部分に10μm角の非線形超伝導素子を形成した。

【0034】まず、実施例1と同様に、(100)MgO基板3上にA電極1、チャネル層2、B電極4、表面保護層5をrfマグネトロンスパッタリングで成膜した多層膜を用い、ネガレジストを用いたフォトリソグラフィーと、イオンミリングによって、A電極1も含め中心部分が幅10μm、長さ100μmにくびれた、ボウタイアンテナ9形状を作製した。その後、実施例1と同様の手法で、ボウタイアンテナ9中心部に10μm角の非

線形超伝導素子を作製し、素子を完成させた。なお、A電極1およびB電極4の材料には $(\text{Bi}_{0.6}\text{Pb}_{0.4})_2-\text{Sr}_2-\text{Ca}_2-\text{Cu}_3-\text{O}_x$ （ただし、 x は任意）を用い、チャンネル層2、表面保護層5等の材料は、実施例1と同一である。

【0035】このようにして作製した非線形超伝導素子に様々な周波数の電磁波を照射したところ、アンテナ形状、サイズに依存する特定の周波数の電磁波を吸収し、超伝導素子の電流電圧特性が変化した。また、この変化は、その吸収した電磁波のエネルギーによって超伝導体の温度が上昇し、超伝導素子の特性が変化することによって説明される。このことを利用して、各種のアンテナ形状、サイズで、ある特定の周波数の電磁波に対して、選択的に本実施例の非線形超伝導素子が応答した。さらに、この応答は、非線形超伝導素子の負性抵抗部分で顕著であった。

【0036】（実施例3）図6に本発明の非線形超伝導素子の別の実施例の概略図を示す。また、図7（a）に、本実施例の非線形超伝導素子部分を拡大した上面図、図7（b）にその断面図を示す。本実施例では実施例1と同様にして、 $(100)\text{MgO}$ 基板3上にA電極1、チャンネル層2、B電極4、表面保護層5をrfマグネトロンスパッタリングで成膜した多層膜を用い、ネガレジストを用いたフォトリソグラフィと、イオンミリングによって、表面保護層5、B電極4、チャンネル層2を非線形超伝導素子となる接合形状に形成した。ただし、A電極1およびB電極4の材料は、主として2223相の酸化物超伝導体の $(\text{Bi}_{0.9}\text{Pb}_{0.1})_2-\text{Sr}_2-\text{Ca}_2-\text{Cu}_3-\text{O}_x$ （ただし、 x は任意）である。

【0037】次にその接合形状の近傍のA電極1の部分に、酸素雰囲気中で赤外線レーザー光線を照射し、結晶化温度以上に加熱し、多くの結晶粒界10を形成した。その後、電極間分離層7、コンタクト電極8を形成し、超伝導素子を構成した。ここで形成したA電極1上の結晶粒界10は、各々相互にジョセフソン結合を形成していた。

【0038】このようにして作製した超伝導素子を冷却し、A電極1に赤外線を照射したところ、超伝導素子の電流電圧特性が変化した。また、数十ギガヘルツの電磁波に対しても応答した。この応答は、超伝導素子を構成する超伝導体の超伝導遷移温度より低温全域で観測した。また、従来の超伝導体を用いたボロメータでは、超伝導体の超伝導遷移温度付近でしか応答しなかったが、本発明の非線形超伝導素子の特性変化は、超伝導遷移温度より十分低温の方が大きく、また雑音も少なく安定であった。さらに、この応答は非線形超伝導素子の負性抵抗部分で顕著であった。

【0039】（実施例4）図8に本発明の非線形超伝導素子の他の実施例の概略図を示す。また、図9（a）に、本実施例の非線形超伝導素子部分を拡大した上面

図、図9（b）にその断面図を示す。実施例1と同様にして、 $(100)\text{MgO}$ 基板3上にA電極1、チャンネル層2、B電極4、表面保護層5をrfマグネトロンスパッタリングで成膜した多層膜を用い、ネガレジストを用いたフォトリソグラフィと、イオンミリングによって、表面保護層5、B電極4、チャンネル層2を非線形超伝導素子となる接合形状を複数個形成した。ただし、A電極1およびB電極4の材料は、主として2212相の酸化物超伝導体の $\text{Bi}_2-\text{Sr}_2-\text{Ca}_1-\text{Cu}_2-\text{O}_x$ （ただし、 x は任意）である。

【0040】形成した多数の接合は、実施例1で述べた非線形超伝導素子であるが、その多数の接合の内、ひとつは温度計測用の超伝導素子として、また他の接合はそれぞれ並列に抵抗で接続し、磁場応答を調べるための超伝導回路11として、電極間分離層7、コンタクト電極8を形成し、非線形超伝導素子、および超伝導回路11を構成した。ここで形成した非線形超伝導素子と、超伝導回路はA電極1を共通としており、超伝導回路11の動作による温度変化によって、非線形超伝導素子の特性が変化した。また、超伝導回路11で発生した熱は、主として超伝導体、ここではA電極1を伝導するため、A電極1の回路部分と、非線形超伝導素子のA電極1との温度差はなく、良好な温度モニタができた。

【0041】なお、各発明の実施例では、チャンネル層の材料として $(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2-\text{Sr}_2-\text{Nd}_1-\text{Cu}_2-\text{O}_x$ （ただし $0 \leq y < 0.5$ 、 x は任意）を用い説明したが、主として2212相の下記酸化物 $(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2-\text{Sr}_2-\text{Ra}_1-\text{Cu}_2-\text{O}_x$ （ただし $0 \leq y < 0.5$ 、 x は任意、 Ra はY、およびランタノイド元素のうち少なくとも一つをさす）のうち一種を用いても、同様に抵抗率が温度に対して負の依存性を有する特性をもち、良好な負性抵抗特性を示す非線形超伝導素子が作製できた。また、このことは、抵抗率が温度に対して負の依存性を有する材料であれば、何でも良いことは言うまでもない。

【0042】さらに実施例としては酸化物超伝導体を用いたが、金属超伝導体でも同様な非線形超伝導素子が形成できることは言うまでもない。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように、超伝導体よりなるA電極およびB電極と、そのA電極、およびB電極に接し、かつその抵抗率が温度に対して負の依存性を有するチャンネル層より超伝導素子を構成することによって、どちらか一方の超伝導体の超伝導遷移温度以下の温度において、電流電圧特性上に負性抵抗特性が現れ、この非線形性を用いると、反転増幅素子、周波数変換素子、発信素子を構成できる効果がある。

【0044】また、本発明に用いたチャンネル層のように、抵抗率が温度に対して負の依存性を有する材料は、抵抗率が大きく、素子抵抗が大きなものとなり、特性インピーダンスの大きな周辺外部回路、あるいは室温の回

路との間で、インピーダンスのマッチングがとり易くなる効果がある。

【0045】さらに、本発明の非線形超伝導素子を超伝導電極をアンテナ状の構成とし、またチャンネル層近傍の超伝導体をチャンネル層程度の幅にパターンニングすると、アンテナ形状に依存し、選択的周波数の電磁波に応答する超伝導素子を構成できる効果がある。

【0046】また、本発明の超伝導素子のチャンネル層の近傍の超伝導体を、ジョセフソン結合をした多数の結晶粒界を含む多結晶薄膜とすることによって、数ギガヘルツから赤外線領域の周波数の電磁波に応答する超伝導素子を形成できる効果がある。この動作は、低温で顕著であり、動作温度のマージンを大きくできる効果がある。

【0047】さらにまた、本発明の超伝導素子を用い、その超伝導素子の一部を、他の超伝導体、超伝導素子、あるいは超伝導回路と共有させるか、接触させると、本発明の超伝導素子の特性変化によって、他の超伝導体、超伝導素子、超伝導回路の温度を正確に計測する超伝導素子を形成できる効果がある。

【0048】現在電気通信分野では、自動車電話の普及、デジタル画像情報の伝送、情報ネットワークの普及などにより、大量の信号を伝達する手段として、より高周波を用いた通信手段が望まれていた。本発明による超伝導素子は、従来使用できなかった高周波の電波の信号処理、検知に利用できるため、これら電気通信分野の電波周波数の利用範囲を拡大できる。さらに高感度であるため、電波障害の問題も低減出来る可能性がある。また、他の超伝導集積回路の温度を簡単に、しかも集積された一つの素子で計測でき、超伝導集積回路の誤動作防止に利用できる。これらの点で本発明の実用的効果は、

電気情報通信分野で大である。

【図面の簡単な説明】

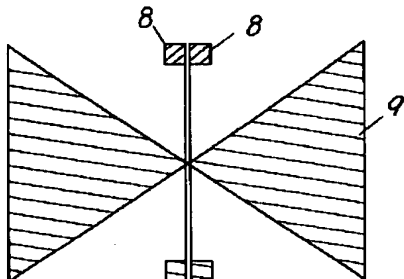
【図1】本発明の非線形超伝導素子の一実施例の作製工程図であり

(a) はA電極上にチャンネル層を形成する工程

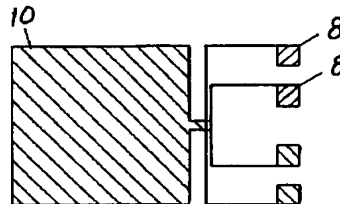
(b) はB電極上に表面保護層を形成する工程

(c) はトンネル接合形状にパターンニングした工程

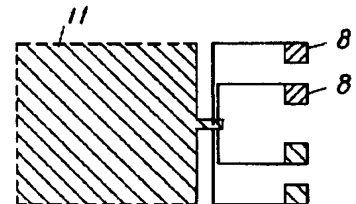
【図4】



【図6】



【図8】



(d) は電極間分離層を形成する工程

(e) はリフトオフ工程

(f) はコンタクト電極形成工程

【図2】本発明の非線形超伝導素子の一実施例のチャンネル層の材料の抵抗率の温度依存性

【図3】本発明の非線形超伝導素子の一実施例の電流電圧特性図

【図4】本発明の非線形超伝導素子の別の実施例の概略図

10 【図5】(a) は本発明の非線形超伝導素子の別の実施例の要部拡大上面図

(b) は本発明の非線形超伝導素子の別の実施例の要部拡大断面概略図

【図6】本発明の非線形超伝導素子の他の実施例の概略図

【図7】(a) は本発明の非線形超伝導素子の他の実施例の要部拡大上面図

(b) は本発明の非線形超伝導素子の他の実施例の要部拡大断面概略図

20 【図8】本発明の非線形超伝導素子の別の実施例の概略図

【図9】(a) は本発明の非線形超伝導素子の別の実施例の要部拡大上面図

(b) は本発明の非線形超伝導素子の別の実施例の要部拡大断面概略図

【符号の説明】

1 A電極

2 チャンネル層

3 基体

4 B電極

5 表面保護層

6 ネガレジスト

7 電極間分離層

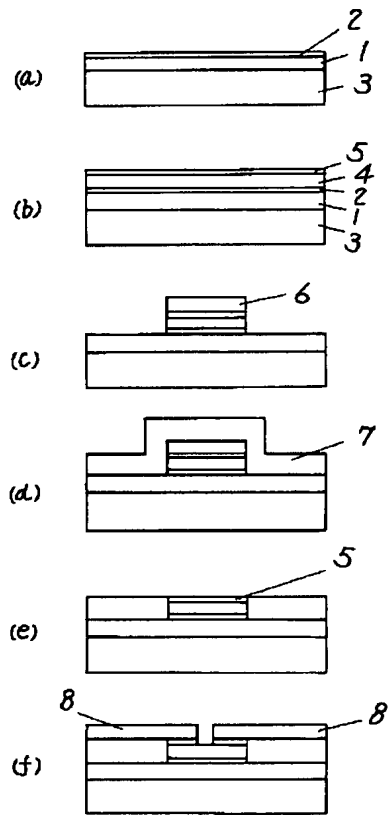
8 コンタクト電極

9 ボウタイアンテナ

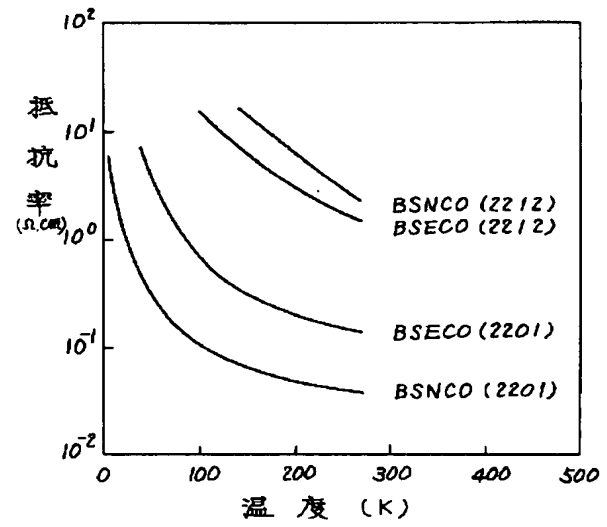
10 結晶粒界

11 超伝導回路

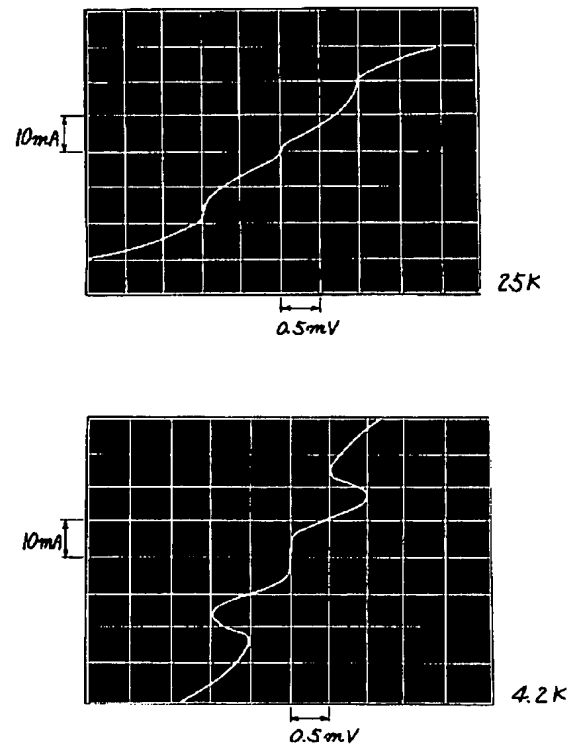
【図1】



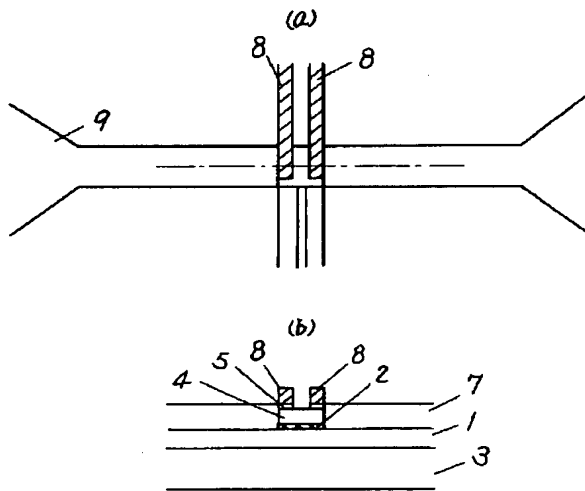
【図2】



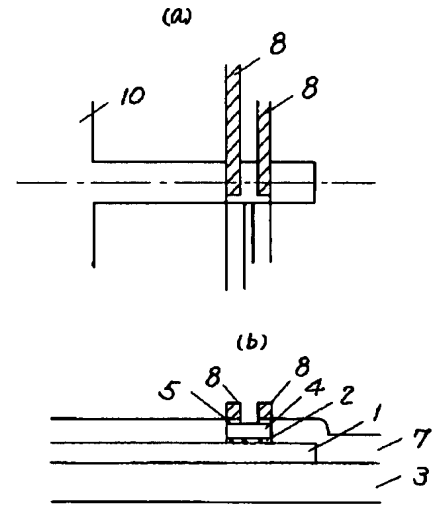
【図3】



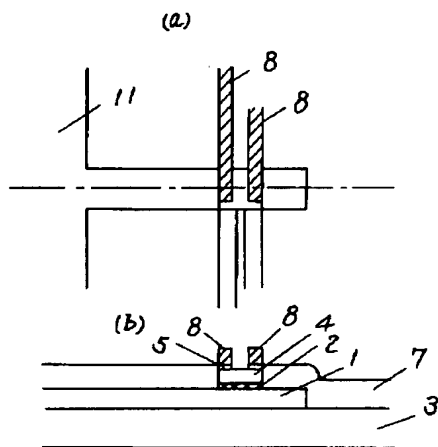
【図 5】



【図 7】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 市川 洋
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成11年(1999)10月15日

【公開番号】特開平5-102540

【公開日】平成5年(1993)4月23日

【年通号数】公開特許公報5-1026

【出願番号】特願平3-261782

【国際特許分類第6版】

H01L 39/22

C01G 1/00 ZAA

29/00 ZAA

【FI】

H01L 39/22 A

C01G 1/00 ZAA S

29/00 ZAA

【手続補正書】

【提出日】平成10年10月8日

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】超伝導体よりなるA電極およびB電極と、前記A電極および前記B電極に接し、かつ抵抗率が温度に対して負の依存性を有するチャンネル層より構成したことを特徴とする非線形超伝導素子。

【請求項2】少なくともA電極またはB電極のどちらか一方をアンテナ状の構成とし、かつチャンネル層近傍の前記A電極または前記B電極の少なくとも何れかを前記チャンネル層程度の幅にしたことを特徴とする、請求項1記載の非線形超伝導素子。

【請求項3】少なくともチャンネル層の近傍のA電極またはB電極のどちらか一方の一部に、多数の結晶粒界を含む多結晶薄膜を形成したことを特徴とする、請求項1記載の非線形超伝導素子。

【請求項4】少なくともA電極またはB電極の一部が、他の超伝導体の一部、超伝導素子の一部、あるいは超伝導体を構成要素に含む超伝導回路の一部に接触または共有したことを特徴とする、請求項1記載の非線形超伝導素子。

【請求項5】超伝導体が酸化物超伝導体であることを特徴とする、請求項1記載の非線形超伝導素子。

【請求項6】チャンネル層が酸化物材料であることを特徴とする、請求項1記載の非線形超伝導素子。

【請求項7】A電極、B電極の材料が、主として2212相の下記Bi系酸化物超伝導体

$(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2\text{Sr}_2\text{Ca}_1\text{Cu}_2\text{O}_{x-}$

(ただし $0 \leq y < 0.5$ 、xは任意)もしくは、主として223相の下記酸化物超伝導体

$(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{x-}$

(ただし $0 \leq y < 0.5$ 、xは任意)の内何れか1種であり、チャンネル層の材料が、主として2212相の下記酸化物 $(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2\text{Sr}_2\text{Ln}_1\text{Cu}_2\text{O}_x$ 、(ただし $0 \leq y < 0.5$ 、xは任意、LnはY、およびランタノイド元素のうち少なくとも一つをさす)を用いることを特徴とする、請求項の1項記載の非線形超伝導素子。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正内容】

【0017】またチャンネル層の材料には、抵抗率が温度に対して負の依存性を有する材料であれば、シリコン、ゲルマニウム、炭素等の半導体材料、酸化物材料、窒化物材料等でも良いが、特に、主として2212相の酸化物 $(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2\text{Sr}_2\text{Ln}_1\text{Cu}_2\text{O}_x$ (ただし $0 \leq y < 0.5$ 、xは任意、LnはY、およびランタノイド元素のうち少なくとも一つをさす)を用いると、抵抗率が高くでき、良好な非線形超伝導素子を構成できるため好ましい。特にA、B両電極、およびチャンネル層とするBi系酸化物を、基板表面に対してその結晶のc軸が垂直に配向するように成膜することにより、そのa、b各結晶方位の格子定数がほぼ一致するために良好な結晶性を有し、A、B両電極において、より良好な超伝導特性をもつ薄膜を実現できるため望ましい。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正内容】

【0041】なお、各発明の実施例では、チャネル層の材料として $(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2\text{Sr}_2\text{Nd}_1\text{Cu}_2\text{O}_x$ (ただし $0 \leq y < 0.5$ 、 x は任意) を用い説明したが、主として 2212 相の下記酸化物 $(\text{Bi}_{1-y}\text{Pb}_y)_2\text{Sr}_2\text{—}\underline{\text{Ln}}_1\text{—Cu}_2\text{—O}_x$ (ただし $0 \leq y < 0.5$ 、 x は任

意、 $\underline{\text{Ln}}$ は Y、およびランタノイド元素のうち少なくとも一つをさす) のうち一種を用いても、同様に抵抗率が温度に対して負の依存性を有する特性をもち、良好な負性抵抗特性を示す非線形超伝導素子が作製できた。また、このことは、抵抗率が温度に対して負の依存性を有する材料であれば、何でも良いことは言うまでもない。